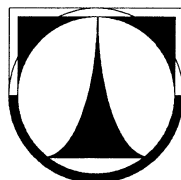


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



**LABORATORNÍ MĚŘENÍ SPOTŘEBY KAPALNÝCH
PALIV SPALOVACÍCH MOTORŮ**

**LABORATORY MEASUREMENT OF CONSUMPTION OF
LIQUID FUELS COMBUSTION ENGINE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

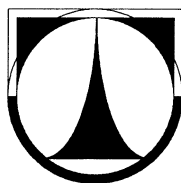
HOAN DUONG VAN

Leden 2013

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor B2341

Strojírenství – Stroje a zařízení

Zaměření

Dopravní stroje a zařízení

**LABORATORNÍ MĚŘENÍ SPOTŘEBY KAPALNÝCH PALIV
SPALOVACÍCH MOTORŮ**

**LABORATORY MEASUREMENT OF CONSUMPTION OF
LIQUID FUELS COMBUSTION ENGINE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

KVM – BP – 261

HOAN DUONG VAN

Vedoucí bakalářská práce : Prof.Ing. Celestýn Scholz, Ph.D, TU v Liberci, KVM

Konzultant bakalářská práce : Ing. Starý

Počet stran: 40

Počet obrázků: 20

Leden 2013

Místo pro vložení originálního zadání BP

Laboratorní měření spotřeby kapalných paliv spalovacích motorů

Anotace

Tato bakalářská práce popisováo měření spotřeby kapalných paliv spalovacích motorů. Experimentální práce byly prováděny v podmínkách laboratoře motorů na FS TU v Liberci s přístroji Sartorius IC64 a AVL 733S.

Klíčová slova : měření paliva, laboratorní motoru

Laboratory measurement of consumption of liquid fuels combustion engine

Annotation

This bachelor thesis described metering liquid fuel combustion engine. Experimental work has been carried out in laboratory conditions, engines in FS TU in Liberec with devices Sartorius IC64 and AVL 733S.

Key words: fuel metering, laboratory engine

Desetinné třídění: (př. 621.43.01 - Teorie spalovacích motorů)

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno : 2013

Archivní označení zprávy: (nevyplňovat)

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V dne

.....

podpis

Seznam symbolů a jednotek :

| | | |
|-----------------|---|--------------------------|
| m_{pe} : | <i>měrná spotřeba paliva</i> | [g/kwh] |
| \dot{m}_p : | <i>hmotnostní tok paliva do motoru</i> | [kg/s] |
| m_{po} : | <i>objemová spotřeba paliva</i> | [m ³ /h] |
| m_{eod} : | <i>objemová dráhová spotřeba paliva</i> | [dm ³ /100km] |
| P_e : | <i>efektivní výkon motoru</i> | [kW] |
| p_e : | <i>střední efektivní tlak</i> | [Mpa] |
| p_{max} : | <i>maximální tlak</i> | [Mpa] |
| H_u : | <i>výhřevnost paliva</i> | [kJ/kg] |
| η_c : | <i>celková účinnost motoru</i> | [-] |
| $M_{p/h}$: | <i>hodinová spotřeba paliva</i> | [kg/h] |
| M_p : | <i>jízdní spotřeba paliva</i> | [L/100km] |
| v : | <i>rychlost vozidla</i> | [km/h] |
| ρ : | <i>měrná hmotnost paliva</i> | [kg/m ³] |
| M_t : | <i>točivý moment</i> | [Nm] |
| n : | <i>otáčky motoru</i> | [1/min] |
| ω : | <i>úhlová rychlost</i> | [rad/s] |
| t : | <i>doba měření</i> | [s] |
| G : | <i>hmotnost</i> | [kg] |
| ϕD : | <i>vrtání (průměr) válce motoru</i> | [mm] |
| q_{pe} : | <i>měrné spotřeb tepelné energie</i> | [MJ/kWh] |
| ε : | <i>odklon kola</i> | [-] |
| V_z : | <i>zdvihový objem motoru</i> | [m ³] |

i : změna spotřeba paliva AVL a Sartorius [%]

k : koeficient ($k = 1$ pro 2době motor, $k = 2$ pro 4dobý motor) [-]

Seznam zkratek

KVM Katedra vozidel a motorů

BP Bakalářské práce

VW Volkswagen

PSM Pístový spalovací motor

TU Technická univerzita

PC Počítač

Obsah

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | Úvod | 9 |
| 2. | Spotřeby paliva spalovacích motorů..... | 10 |
| a. | Měrná hmotnostní spotřeba paliva | 10 |
| b. | Objemová spotřeba paliva | 10 |
| 3. | Způsoby měření spotřeb paliva..... | 16 |
| 3.1. | Volumetrické (objemové) měření | 16 |
| 3.1.1 | - Odměrné nádoby | 17 |
| 3.1.2 | - Průtokové měřiče spotřeby..... | 18 |
| 3.1.3 | - Průtokový měřič spotřeby paliva PLU 401-108 | 20 |
| 3.2 | - Hmotnostní měřiče spotřeby (gravimetrický způsob) | 22 |
| 3.2.1 | - Váha Sartorius | 22 |
| 3.2.2 | - Gravimetrické měřicí přístroje AVL | 24 |
| 4. | Příprava měření k měření spotřeb paliva | 27 |
| 4.1 | Příprava přístroje AVL 733S | 28 |
| 4.2 | Příprava přístroje Satorius IC 64 | 30 |
| 5. | Vlastní měření a jeho vyhodnocení | 32 |
| 6. | Závěr | 39 |
| | Seznam použité literatury | 40 |

1. Úvod

Spotřeba paliva je důležitým ukazatelem nejen hospodárnosti provozu a současně technického stavu, ale také nepřímo charakterizuje technickou vyspělost konstrukce motoru a celého automobilu. Spotřebu paliva vozidla lze zjišťovat při jízdách zkouškách automobilu na silnici nebo také v laboratorních podmínkách na válcových stanicích. Nejčastěji se spotřeba paliva potom měří v laboratořích nebo zkušebnách vozidlových motorů.

Takto úzkou spotřebu paliva navýváme objemovo dráhovou pro kterou platí vztah

$$m_{eod} = \frac{M_{p/h}}{v \cdot \rho} \cdot 10^5 = \frac{P_m \cdot m_e}{v \cdot \rho} \cdot 10^5 \quad (1)$$

Tato spotřeba udává objem paliva v dm^3 za jedou dráhu 100km. Závisí na rychlosti jízdy vozidla v km/h, na výkonu motoru v kW, který potřebuje vozidlo k překonání jízdých odporů, a měrné spotřeba motoru v g/kWh.

Měrné spotřeba spalovacího motoru je výsledkem jeho konstruční a procesní optimalizace v průběhu jeho vývoje.

Dnes požadavky na nízké spotřeby paliv nemají vliv jen na ekonomii vozidla, ale stále více i na ekologii.

Existuje přímá souvislost mezi spotřebou paliva a vývinem emisí výfukových plynů, zejména pak skleníkového plynu CO_2 .

Snižování spotřeby paliva u spalovacích motorů vyžadují nové metody laboratorních měření s vyšší přesností.

Cílem mé BP je porovnat přesnost výsledků měření dvou metod, které se používají v laboratoři motoru na katedře KVM Technické univerzity v Liberci.

2. Spotřeby paliva spalovacích motorů

Jak už bylo v úvodu řečeno, je spotřeba paliva důležitým ukazatelem nejen hospodárnosti provozu a technického stavu, ale také nepřímo charakterizuje technickou vyspělost konstrukce motoru.

Spotřebované palivo spalovacího motoru je zpravidlo měřeno na výstupu z palivové nádrže. V některých případech je nutno vzít v úvahu zpětné vracení paliva do nádrže.

Spotřeba paliva je důležitým parametrem zejména z hlediska ekonomiky a ekologie. Snižuje se zejména s klesající hmotností vozidla, jízdními odpory, aerodynamikou, dobrým odstupnováním převodových rychlostí, charakterem jízdy.

Mezi důležité provozní parametry motoru patří měrná spotřeba paliva. Rozlišujeme 3 druhy spotřeby paliva :

a) Měrná hmotnostní spotřeba paliva

$$m_{pe} = \frac{M_{p/h}}{P_e} \cdot 10^3 \quad (2)$$

Měrná spotřeba paliva je ukazatelem celkové účinnosti motoru, jak vyplývá z následujících vztahů :

Efektivní výkon motoru

$$P_e = \dot{m}_p \cdot H_u \cdot \eta_c = \frac{M_{p/h}}{3600} \cdot H_u \cdot \eta_c \quad (3)$$

Účinnost motor

$$\eta_c = \frac{P_e}{M_{p/h}} \cdot \frac{1}{H_u} \cdot 3600 = \frac{3600}{m_{pe} \cdot H_u} \quad (4)$$

b) Objemová spotřeba paliva

Spotřeba paliva je součástí charakteristika PSM. Spotřeba paliva v litrech na 100 km se vypočte podle vztahu :

$$m_{po} = \frac{M_{p/h}}{\rho} \quad (5)$$

Průběh hodnot spotřeb paliva se zobrazuje v charakteristikách spalovacích motorů.

Základními charakteristikami PSM jsou:

Rychlostní (otáčková) :

Vnější charakteristika zjišťují se měřením točivého momentu motoru a dalších provozních veličin (spotřeby paliva, teplot, koncentrací škodlivin ve výfukových plynech) při konstantním nastavení ovládacího ústrojí motoru v celém rozsahu provozních otáček motoru - pro 100% zatížení (plně otevřená škrtková klapka nebo nastavení vstřikovacího čerpadla na plnou dávku paliva).

Například : Motor VW 2.0 TDi 103 kW



Obr.1 - Motor VW 2.0 [1]

Technické parametry

Typ : 4 – válec řadový motor

Ventily na válec 4

Zdvihový objem 1968 cm³

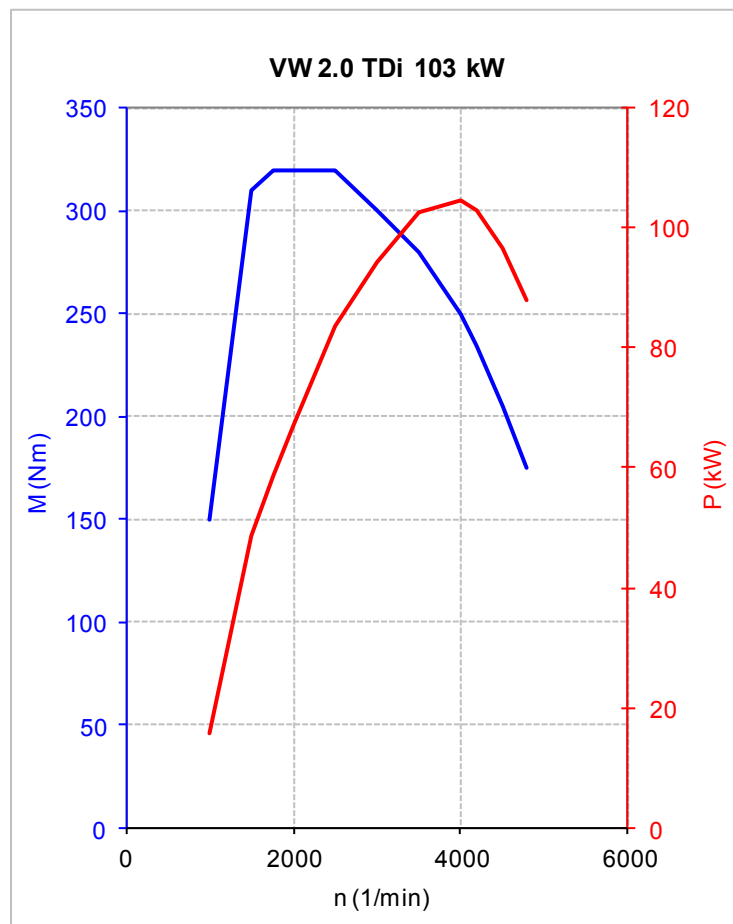
Zdvih 95,5 mm

Průměr 81 mm

Maximální výkon 103 kW při 4200 1/min

Maximální točivý moment 320 Nm při 1750 - 2500 1/min

Kompresní poměr 16,5:1



obr.2 - Rychlostní charakteristika PSM [1]

Vnější otáčková (rychlostní) charakteristika motoru je sestavena z naměřených hodnot točivého momentu motoru M_t při jednotlivých otáčkách a vypočteného P_e se někdy uvádí i průběhy měrné spotřeby paliva, teplot aj.

$$P_e = M_t \cdot \omega = M_t \cdot \frac{2\pi \cdot n}{60 \cdot 10^3} \quad (6)$$

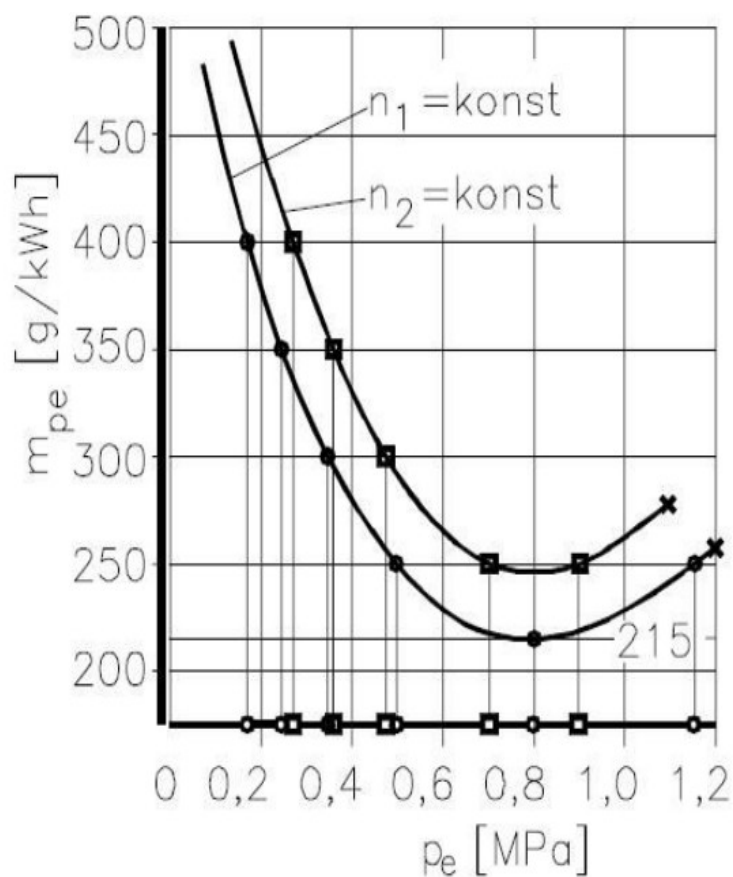
Zatěžovací charakteristika:

Nezávisle proměnnou je zatížení motoru reprezentované hodnotami středního efektivního tlaku p_e , příp. M_t : charakteristika se zjišťuje při konstantních otáčkách. Na obr.3 jsou zakresleny v zatěžovací charakteristice průběhy měrných spotřeb paliva m_{pe} pro dvojce různé otáčky (n_1 a n_2). Z naměřených hodnot v zatěžovací charakteristice sestavuje úplná (vrstevnicová) charakteristika.

$$p_e = \frac{P_e \cdot 60 \cdot k}{V_z \cdot n} \quad (7)$$

Od (2) a (7) Po změně lze stanovit měrných spotřeb paliva m_{pe} podle střední efektivní tlak

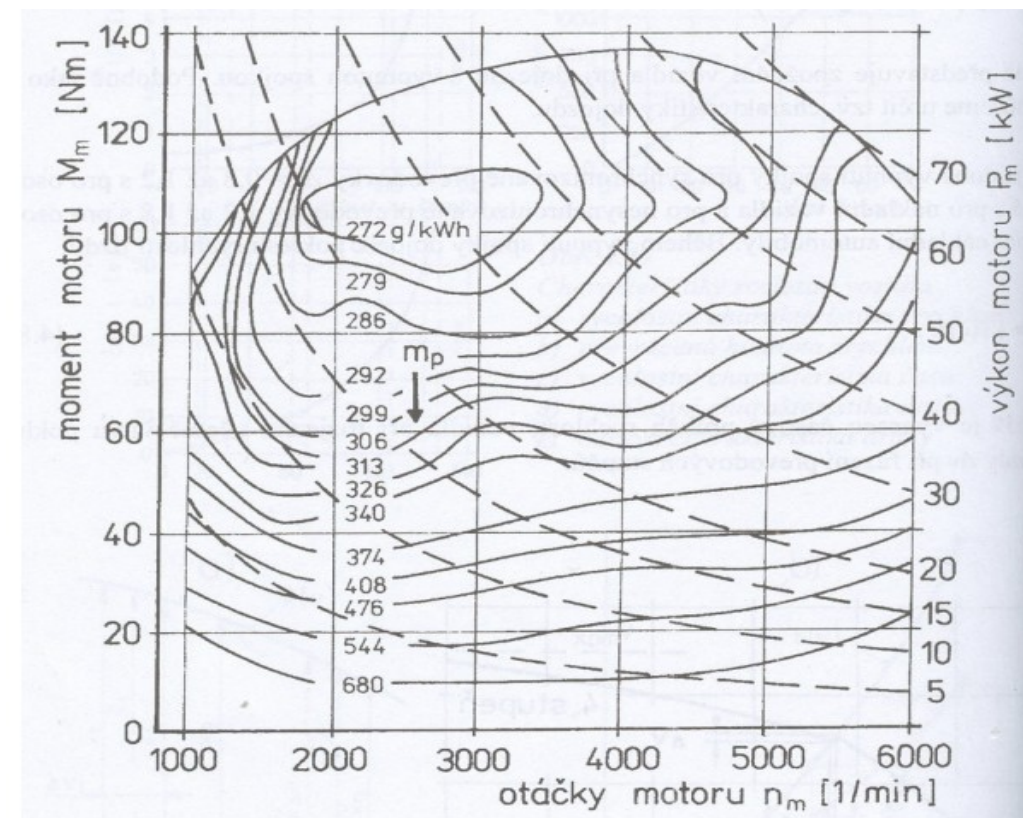
$$m_{pe} = \frac{M_{p/h} \cdot k}{p_e \cdot V_z \cdot n} \cdot 6 \cdot 10^4 \quad (8)$$



Obr. 3 - Zatěžovací charakteristika přepínaného vznětového PSM [8]

Úplná charakteristika

Která v podobě průsečíkového diagramu vyjadřuje v závislosti na dvou proměnných, n a p_e , křivky konstantního výkonu P_e a křivky konstantních měrných spotřeb m_{pe} , příp. i jiné průběhy obr.4 . Úplná charakteristika PSM ukazuje rozmezí provozní oblasti motoru s nejvyšší účinností a poskytuje tak důležitou informaci pro optimalizaci spolupráce PSM s převodovým ústrojím.



Obr.4 - Úplná charakteristika vozidlového zážehového motoru [10]

Porovnáním technické kvality motorů podle měrných spotřeb je bezproblémové, pokud jde o motory stejného typu (zážehové - vznětové) a o stejná paliva. Pokud se však mají porovnávat motory které pracují s navzájem různými palivy (např. nafta a zemní plyn), je potom výhodnější buď zavést porovnání podle celkových účinností, nebo nahradit měrnou spotřebu paliva vyjádřením měrných spotřeb tepla (energie) q_{ps} na jednotku práce motoru:

$$q_{ps} = \frac{m_{ps}}{1000} \cdot H_u \quad (9)$$

Obvyklé hodnoty m_{ps} pro nejvýznamnější skupiny PSM jsou uvedeny v Tab.2 (tabulka obsahuje orientační údaje o vrtání válců a provozních otáčkách motorů příslušné skupiny: vedle automobilových PSM jsou pro porovnání uvedeny i další kategorie PSM).

| Provedení motoru | Aplikace | n_{\max} [1/min] | $\varnothing D$ [mm] | ε [-] | p_e [MPa] | p_{\max} [MPa] | m_{pe} [g/kWh] |
|----------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|----------------|---------------------|---------------------|
| Zážehový 2dobý | motocykl | 5000 - 8000 | 70 - 40 | 7 - 9 | 0,40 - 0,60 | 3,5 - 4 | 400 - 600 |
| Zážehový 4dobý nepřep. | osobní automobil | 5000 - 7000 | 85 - 60 | 9 - 11 | 0,85 - 1,10 | 5 - 6 | 250 - 350 |
| Zážehový 4dobý přep. s chlazením | osobní automobil | 5000 - 7000 | 85 - 60 | 8 - 10 | 1,20 - 1,70 | 6 - 8 | 270 - 370 |
| vznětový 4dobý nepřep. | automobil | 2000 - 4500 | 130 - 80 | 16 - 21 | 0,70 - 0,85 | 8 - 10 | 230 - 270 |
| vznětový 4dobý přep. s chlazením | automobil | 2000 - 4500 | 130 - 80 | 14 - 19 | 0,90 - 1,6 | 10 - 14 | 195 - 240 |
| vznětový 4dobý přep. s chlazením | stacionární lodní | 250 - 750 | 600 - 250 | 10 - 12 | 2,0 - 2,7 | 16 - 18 | 180 - 210 |
| vznětový 2dobý přep. s chlazením | stacionární lodní | 100 - 300 | 1100 - 350 | 10 - 12 | 1,4 - 1,7 | 12 - 15 | 160 - 200 |

Tab.1 – Rozměrové, provozní a výkonové parametry automobilových PSM [8]

3. Způsoby měření spotřeb paliva :

3.1 Volumetrické (objemové) měření :

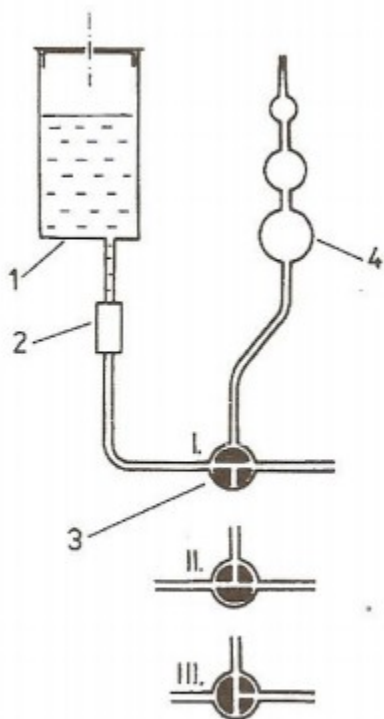
Při objemovém měření spotřeby paliva se používají různé průtokoměry, které umožňují průběžné měření spotřeby paliva. U vznětových motorů popřípadě u motorů se vstřikováním benzínu, dodává podávací palivové čerpadlo do vstřikovacího čerpadla přebytek paliva. Dopravované palivo není všechno spotřebováno, část paliva (přebytek) se odvádí zpět do nádrže. To poněkud komplikuje měření spotřeby, protože množství tohoto paliva se musí buď změřit a odečíst, nebo se měřící zařízení vhodně zapojí, aby se průtok přebytečného paliva vracel do přívodu čerpadla.

3.1.1 - Odměrné nádoby

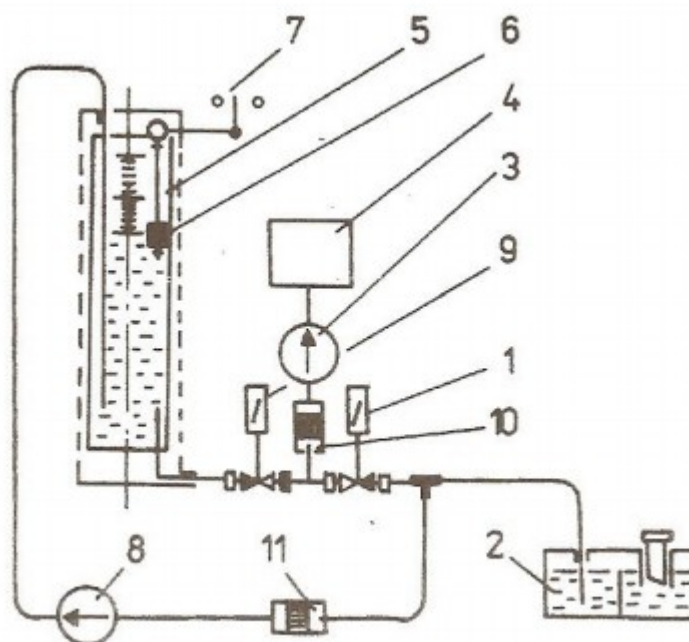
Jsou nejjednodušším měřidlem. Objemové spotřeby paliva pomocí třicestného kohoutu se baňky naplní z hlavní nádrže. Poté se kohout přesměruje tak, aby palivo protékalo jenom z baňky, na které jsou rysky, určující přesné objem. Zjišťuje se čas, za který klesající hladina protne rysky.

Schéma jednoduchého přístroje s odměrnými baňkami je na obr.5 . Palivo z výše umístěné nádrže protéká přes filtr k trojcestnému kohoutu. V poloze I protéká palivo přímo k motoru, v poloze II jsou navíc naplňovány odměrné baňky. Je-li trojcestný kohout natočen do polohy III, pak je přerušen přívod paliva ze zásobní nádrže a palivo je dodáváno k motoru z odměrných baněk. Ze změřeného času průtoku a odměřeného množství paliva se určí objemová spotřeba paliva v dm^3/h .

Funkčně odlišný je elektricky ovládaný měřič spotřeby paliva obr.6 . Vlastní měření spotřeby probíhá při uzavřeném ventilu (1) a otevřeném ventilu (9). Palivo je k motoru dodáváno dávkovacím čerpadlem přečerpáváním z odměrné nádoby. V okamžiku poklesu hladiny paliva uvádí plovák a kontaktní relé do činnosti zařízení pro měření a po dosažení určitého času se elektromagnetický ventil (1) otevře a ventil (9) uzavře. Úbytek paliva v odměrné nádobě lze na stupnici odečítat v jednotkách spotřeby dm^3/h .



Obr.5 - Jednoduchý měřič spotřeby: 1 – nádrž s palivem; 2 – filtr; 3 – kohout;
4 – baňky [10]



Obr. 6 - Měřič spotřeby paliva: 1 – elektromagnetický ventil; 2 – nádrž;
3 – dávkovací čerpadlo; 4 – karburátor; 5 – odměrná nádoba;
6 – plovák; 7 – kontaktní relé; 8 – plnicí čerpadlo; 9 – elektromagnetický ventil; 10,11 –
filtry
[10]

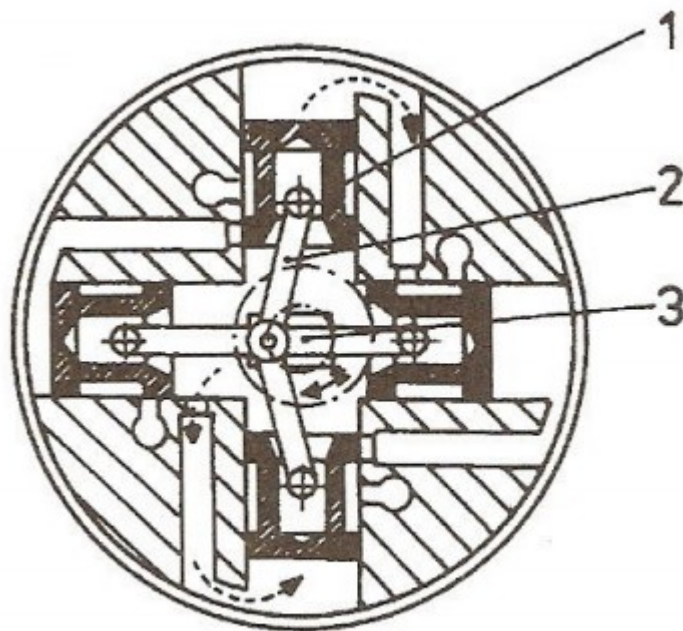
3.1.2 - Průtokové měřiče spotřeby

Průtokový měřič spotřeby Datron DFL :

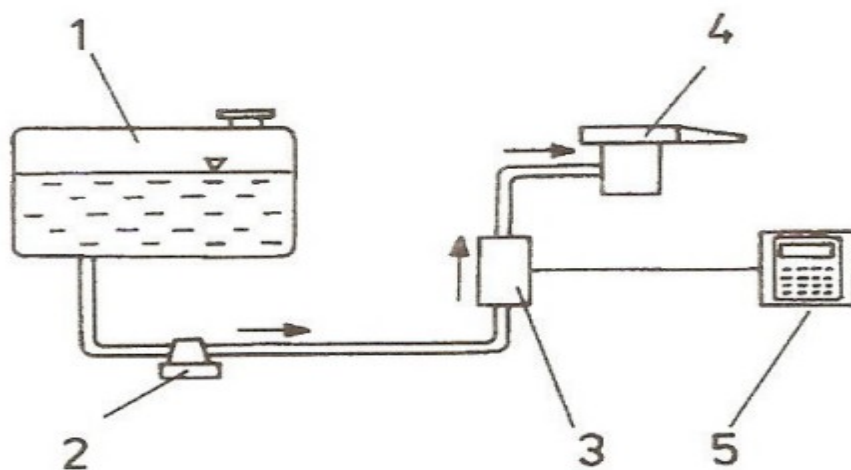
Zpravidla pracují na principu přímé úměry průtoku a otáček zubového čerpadla. Další možností je objemové čerpadlo s obráceným chodem. Průtok paliva uvádí do pohybu písty čerpadla a tím roztáčí klikový hřídel. Otáčky jsou převedeny na signál a kontrolní přístroj ukazuje okamžitou spotřebu. Průtokový měřič spotřeby paliva Datron DFL (dříve Flowtronic 205) slouží pro jednoduché a rychlé zjištění spotřeby paliva. Tento přístroj je vhodný jak pro jízdní zkoušky, tak pro měření na zkušebních stavech.

Měřič je znázorněn na obr.7 . Je založen na principu objemového čerpadla a skládá se ze čtyř radiálně uspořádaných pístů, které se vlivem tlaku kapaliny pohybují. Přímý pohyb pístů je ojnici a klikovým hřídelem převáděn na otáčivý pohyb hřídele. Snímač impulsů předá tento otáčivý pohyb ve tvaru elektronických impulsů na mikropočítač, který impulsy přepočítá na objemovou jednotku [cm³] a znázorní na číslcovém displeji. Ukazovací přístroj má programovatelný mikropočítač, který umožňuje provádět početní operace. Průtokoměr se umísťuje mezi benzinové podávací čerpadlo a

motor – obr.8 nebo mezi podávací čerpadlo a rozdělovací lištu vstřikovacích ventilů. V případě rozdělovací lišty je za podávacím čerpadlem zapojen navíc regulátor tlaku.



Obr.7 - Funkční schéma měřiče spotřeby Datron DFL: 1 – písty; 2 – ojnice;
3 – klikový hřídel
[10]

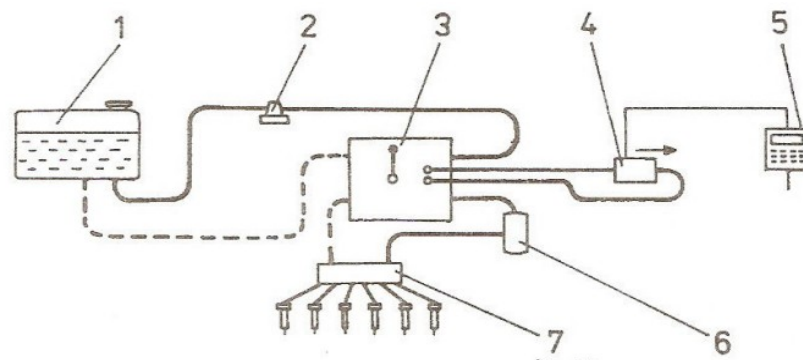


Obr.8 - Umístění měřiče Datron DFL (Flowtronic 205): 1 – palivová nádrž;
2 – čerpadlo; 3 – průtokoměr; 4 – karburátor; 5 – mikropočítač s číslicovým
displejem
[10]

Stejné metody měření spotřeby jako u karburátorových zážehových motorů nelze u vznětových motorů a zážehových motorů se vstřikovačem použít, neboť dopravované není všechno spotřebováno, část se vrací odpadovým potrubím zpět do nádrže vozidla.

Pro měření spotřeby u vozidel se vznětovým motorem nebo pro benzinové motory se vstřikováním paliva je nutno použít přídavné zařízení (dříve Flowjet-Ventil 4703).

U PSM se vstřikováním lze měřit spotřebu paliva také za předpokladu, že objem nádrže na palivo je konstantní. Pak množství paliva, které je nutno doplnit odpovídá množství paliva, které se spotřebuje pro vstřikovací trysky. Před měřením je nutno zařízení odvzdušnit (ovládací pákou), potom zapnout čerpadlo, nastartovat motor a asi po půl minutě přestavit ovládací páku na měřicí polohu. Uspořádání celého zařízení pro měření spotřeby paliva u PSM se vstřikováním je znázorněno na obr.9 .



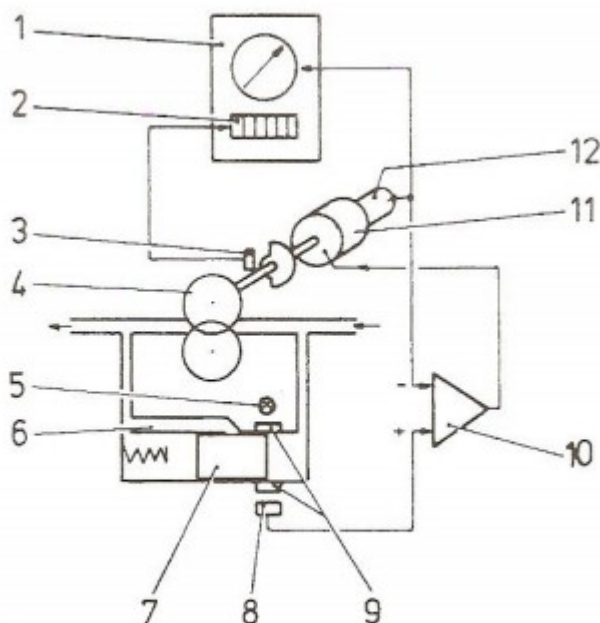
Obr. 9 - Měření spotřeby u motorů se vstřikováním paliva: 1 – palivová nádrž;
2 – podávací čerpadlo; 3 – přídavné zařízení (dříve Flowjet-Ventil 4703);
4 – průtokoměr Datron DFL (dříve Flowtronic 205); 5 – mikropočítač s displejem;
6 – filtr; 7 – vstřikovací soustava

[10]

3.1.3 - Průtokový měřič spotřeby paliva PLU 401-108

Používá se k měření spotřeby kapalných paliv. Jeho maximální průtok je 60 l/h. Je vybaven měřením teploty protékajícího paliva. Zpětné vedení je připraveno pro případ měření motoru s vracením přebytečného paliva do nádrže (např. motor se vstřikováním). Je možné jej použít u všech stanovišť.

Měřicí princip měřiče spotřeby PLU-108 je založen na tom, že v objemovém měřidle (např. v zubovém čerpadle) nevznikají žádné ztráty netěsnosti (prosakováním), jestliže je tlakový rozdíl měřidla nulový. Pak je počet otáček velmi přesně úměrný průtoku. Schéma průtokoměru PLU-108 je na obr. 10



Obr. 10 - Průtokový měřič spotřeby paliva Pierburg PLU 108: 1 – indikační přístroj (analogový ukazatel v l/h); 2 – číslicový ukazatel (cm^3); 3 – snímač otáček; 4 – zubové čerpadlo; 5 – lampa; 6 – přepouštěcí kanál; 7 – měřicí píst; 8 – fotonka; 9 – měřicí průhled; 10 – zesilovač; 11 – motor; 12 – tachogenerátor
[10]

Při stálém průtoku pohání motor zubové čerpadlo použité jako objemové měřidlo tak, že na čerpadle není žádný tlakový rozdíl. Změní-li se průtok, pak vznikne tlakový rozdíl. Při vzrůstajícím průtoku se bude např. tlak na vstupu čerpadla zvětšovat. Tím je měřicí píst posunut tak, že měřicím průhledem projde od žárovky více světla na fotoelektrický odpor a na vstupu zesilovače bude větší signál od odporové fotonky než signál od tachogenerátoru. Výsledný kladný signál přinutí motor k vyšším otáčkám, až signál od tachogenerátoru je roven signálu od fotoelektrického odporu. Tím se stane tlakový rozdíl před a za čerpadlem opět nulový. Poklesne-li průtok měřicím přístrojem, pak bude tlak na vstupu čerpadla klesat a děj probíhá opačně.

Vysoká přesnost měřicího přístroje je dána tím, že dutý měřicí píst je tak vyvážen, že jeho hmotnost je rovna hmotnosti kapaliny vytlačované pístem. Píst nemá tedy ani tíhu, ani vztlak a nevyvozuje proto žádné tření. Proto reaguje na nejmenší tlakové rozdíly a může tak tlak na vstupní a výstupní straně vyrovnávat, že nevzniknou žádné ztráty prosakováním a průtok je možno určit měřením otáček.

Analogový ukazatel indikuje okamžitou spotřebu a číslkové počítadlo celkovou spotřebu. Před měřidlo se připojuje plováková komora, která vylučuje z paliva plynné a parní bubliny, které by mohly zkreslit výsledek měření.

3.2 - Hmotnostní měřiče spotřeby (gravimetrický způsob)

Na vahách je umístěna nádoba s palivem. Z této je dopravním čerpadlem zásobován palivový systém. Při sledovaném režimu je spotřeba odečtena z ukazatele vah za určitý čas.

3.2.1 - Váha Sartorius

Řada Cubis jsou plně modulární laboratorní vahy Sartorius které jsou volně konfigurovatelné a adaptovatelné podle potřeb uživatele.

Cubis splňuje všechna přísná kritéria pro Advanced Pharma Compliance a je předurčen pro použití v systémech managementu kvality v regulovaných oborech farmaceutického průmyslu.

Nové Cubis od Sartorius :



Obr.11 - Sartorius MSU [6]

Přesné váhy jsou tvořeny:

zobrazovací a obslužnou jednotkou MSU, váhovým modulem 8202S s rozlišovací schopností 10mg a rozsahem vážení 8.200 g.



Obr.12 - Satorius MSA [6]

Analytické váhy jsou tvořeny:

zobrazovací a obslužnou jednotkou MSA, váhovým modulem 324S s rozlišovací schopností 0,1 mg a rozsahem vážení 320 g, manuálním krytem proti průvanu DU.



Obr. 13 – MSE čistě vážení [6]

Mají velký jednobarevný displej s vysokým rozlišením, velmi přesnou klávesnici s jasně zřetelnou přesností (odskakující klávesy). Pro uživatele, kteří chtějí kombinovat klasické ovládání prostřednictvím kláves s maximální úrovní funkčnosti.

Modulární systém vah Cubis je vytvořen zobrazovacími a obslužnými jednotkami, váhovými moduly a ochrannými nástavci proti průvanu.

Kombinací těchto základních modulů se nejdříve nadefinují základní charakteristiky vah. Moduly s datovým rozhraním a dokonalé příslušenství umožňují další individuální přizpůsobení.

Váha Satorius IC 64 které se používají v laboratoři KVM TUL v Liberci



Obr.14 - Satorius IC 64 v laboratoři

Slouží k měření spotřeby paliva při měření váhovou metodou u všech stanovišť. Zjišťuje se úbytek paliva z nádoby umístěné na misce váhy. K odvodu, případně i přívodu paliva do nádoby na váze slouží trubka upevněná mimo váhu a zasahující pod hladinu paliva v nádobce. Měří se úbytek hmotnostního množství paliva za čas běhu motoru.

3.2.2 - Gravimetrické měřicí přístroje AVL Fuel Balance

Dynamický měřič spotřeby paliva 733s AVL s ohledem na požadavky výrobců moderních spalovacích motorů. S instalací řídicí a vyhodnocovací jednotky v čidle spotřeby paliva byl

vzat v úvahu současný trend k více inteligentním čidlům. Standardní interface k počítači vyšší úrovně na zkušebním stanovišti nebo k uživateli je RS232.

S použitím standardních parametrů měření je maximální měření hmotnost paliva 1800 g. Pro zvětšení rozlišení lze zapnout zesílení senzoru, a tak zvětšit přesnost při měření menších hmotností nebo při nižších hodnotách spotřeby.

Dílcí výsledky a okamžitá spotřeba mohou být vyžádány kdykoliv. V případě vícenásobných měření jsou počítány : střední hodnota, maximální a minimální hodnota, jakož i standardní odchylka.

Měřič spotřeby paliva 733s je vhodný pro všechna komerčně dostupná benzinová a dieselová paliva (také s příměsí volitelného množství alkoholu), jakož i pro čistý alkohol.

Měřič paliva 733S pracuje na principu gravimetrického měření. Palivo je dodáváno do motoru z měřicí nádoby, jejíž hmotnost je kontinuálně měřena způsobem, který ukazuje obr.15. Gravimetrický princip měření umožňuje přímé měření spotřebovaného množství paliva. Není nutné zjišťovat teplotu a hustotu paliva, což u volumetrického postupu je ovlivněno tolerancemi snižujícími přesnost měření.



Obr.15 - AVL 733S v laboratoři

Funkce :

- Získání množství paliva v měřicí nádobě, která je podepřena na ohebné pružině.
- Přeměna množství na dráhu – bez tření a hystereze
- Bezkontaktní kapacitní snímač polohy mění dráhu na napětí.

- Mikroprocesor vyhodnocuje napětí a provádí plně automatické řízení měření a kalibračního procesu.
- Display a činnost jsou doplněny počítačem vyšší úrovně

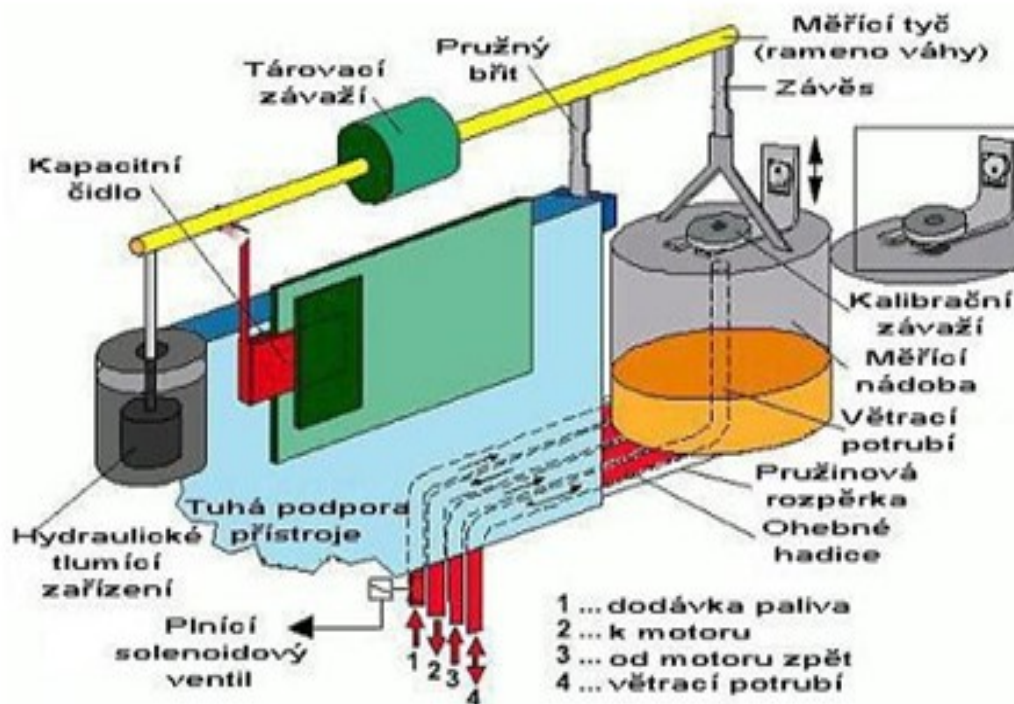
Výhody :

- Výsledky měření nejsou ovlivněny změnou hustoty díky změnám teploty.
- Ověřování v průběhu měření.
- Umožňuje průběžná měření
- Měření velkých objemů až do 500 kg/h
- Vhodné pro vstřikovací systémy s bublinami ve vratné větvi

Vlastnosti metody :

Stejně jako palivová nádrž i měřicí nádoba je vybavena zpětným potrubím a odvětrávacím potrubím, a tak trvale odděluje bubliny vzduchu a páry z měřicího okruhu (přívodní a zpětné potrubí). Není nutné žádné další oddělování bublin, které by mohlo mít nádobě již předtím než by se mohly dostat do měřicího okruhu

- Přesnost měření 0.1%
- Jedinečný rozsah měření
S měřicem palivo 733S lze měřit spotřeby 0...15 kg/h , v případě zvláštního použití až do 400 kg/h.
- Časově spojitě měření spotřeby paliva
Kapacita 1800g je dostačuje pro trvalé měření spotřeby zhruba u 95% všech osobních vozů během všech mezinárodně známých typových zkušebních postupů. Na základě tohoto principu měření je možno určit celkovou spotřebu přímo , bez integrace, na konci cyklu. Vzhledem ke krátkému času plnění je měřič paliva rychle připraven k novým měřicím úkolům.
- Automatické kalibrační zařízení
Podle ISO9000 musí být všechna měřicí zařízení v pravidelných intervalech kontrolována. S automatickým kalibračním toho může být dosaženo snadno a levně.
Přesnost měření měřice paliva může být zkontrolována a kalibrace provedena bez rozpojení palivového potrubí . Pomocí obtokového ventilu je to možné i za chodu motoru.



Obr. 16 – Měřič spotřeby paliva 733S [2]

4. Příprava měření k měření spotřeb paliva

K měření byly vybrány dva přístroje, které se v laboratoři motorů katedry vozidel a motorů používají nejčastěji pro stanovení spotřeby kapalných paliv. Jedné se o gravimetrickou metodu s využitím váhy Satorius IC64 a měřič spotřeby paliva AVL 733S. Oba přístroje byly použity k určení hodinové spotřeby paliva v kg/h u motoru VW dvou zatěžovacích režimech. Jedné se o přeplňovaný vznětový motor s mezi chladičem plnicího vzduchu a palivovým systémem Common Rail.

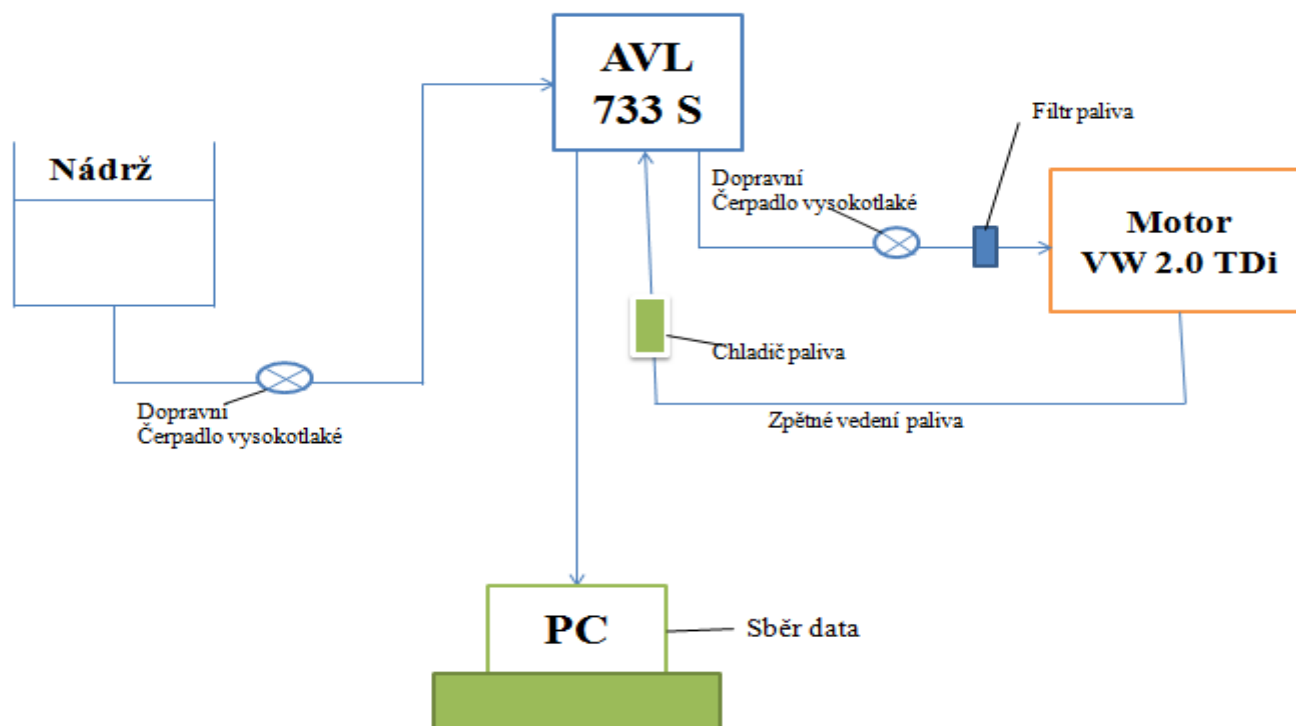


Obr.17 – Motor VW 2.0 TDi v laboratoři

4.1 - Příprava přístroje AVL 733S



Obr.18 - AVL 733S v laboratoři



Obr.19 - Schéma zapojení přístroje AVL 733S

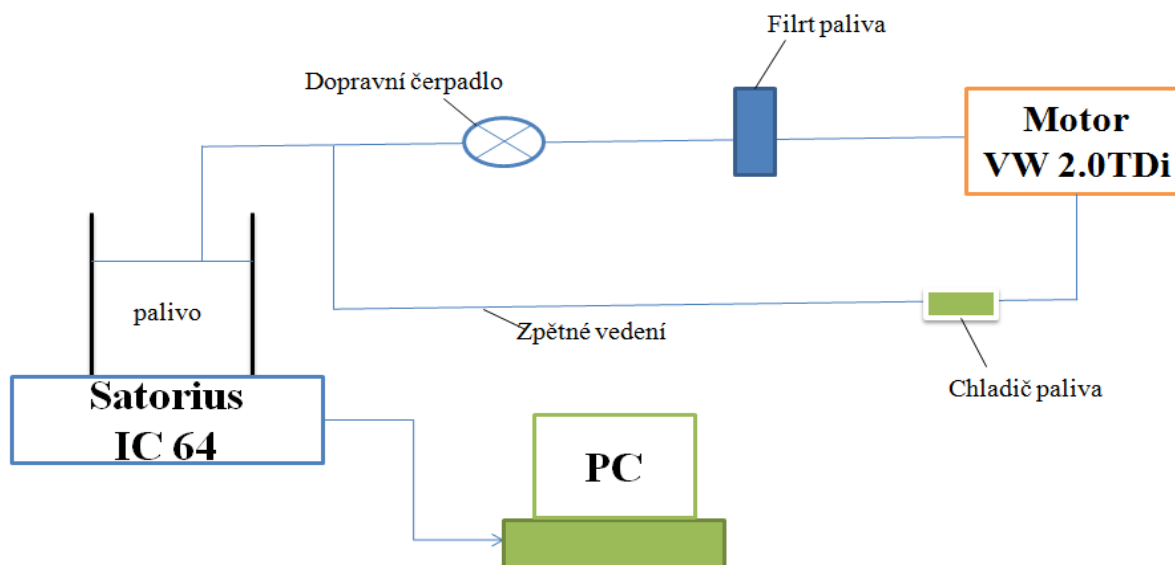
Na Obr.19 vidíme, že palivo je dodáváno z nádrže pomocí dopravního do čerpadla měřiče paliva AVL 733S a odtud do motoru přes filtr. Palivo z odpadu systému Common Rail je vedeno zpět do přístroje AVL přes chladič. Měřič paliva AVL je napojen pomocí seriového rozhraní na PC brzdového stanoviště, kde je proveden sběr naměřených dat.

V důsledku gravimetrického principu měření je měřič paliva necitlivý na změny paliva a jeho plynné části.

Přístroj AVL určuje váhu paliva v měřicí nádobě s vysokou přesností a vypočítává spotřebu z měřicí nádoby na základě změny hmotnosti. Avšak za účelem přesného stanovení spotřeby motoru musí být zajištěno, aby hmotnost paliva v měřicím okruhu zůstala konstantní.

4.2 Příprava přístroje Satorius IC 64

Základní schéma principu měření paliva na Sartorius IC 64



Obr.20 - - Schéma zapojení přístroje Satorius IC 64

Nádrže s palivem je uložena na váhu Satorius IC 64 a vedena do motoru přes dopravní čerpadlo a filtr paliva. Přebytek paliva se zpětně vede zpětným vedením do motoru.

Sběr data je prováděn prostřednictvím počítače.

5. Vlastní měření a jeho vyhodnocení :

Pro měření byly zvoleny : dva otáčkové režimy (1500 1/min a 2000 1/min). Při obou otáčkových režimech byly prostupné nastaveny 4 zatížení pomocí polohy akuterálního pedálu (30%, 50%, 70%, 100%)

Každé zatížení trvalo 4 minuty. Výsledné hodnoty v tabulkách jsou hodnoty ze třetí minuty z každého 4 min. Cyklu.

Pro zaručení opakovatelnosti byla teplota paliva udržována chladičem konstantní po celou dobu měření 25°C.

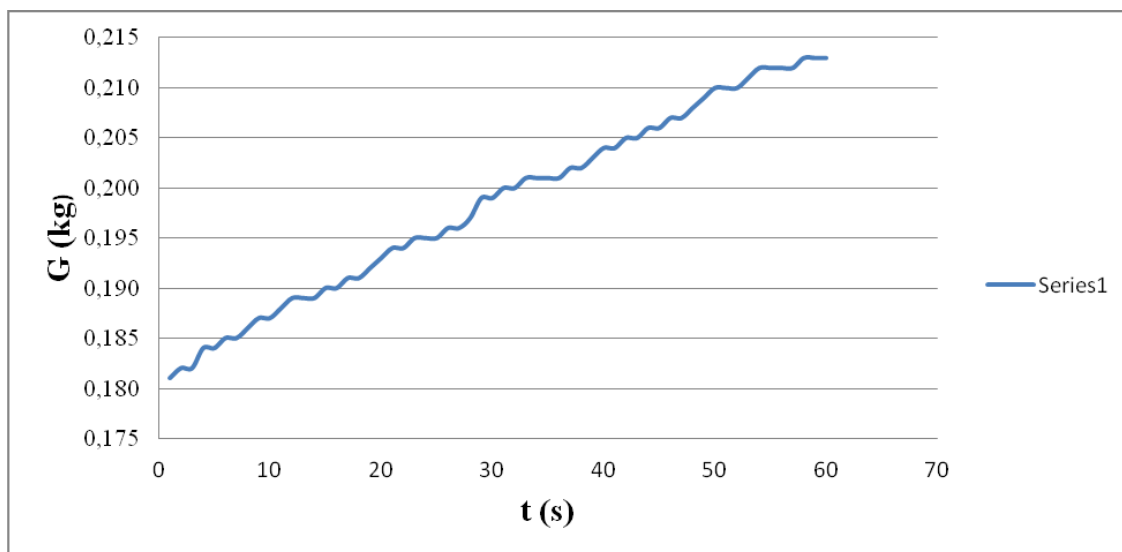
Všechny data byli naměřeny při barometrických podmínkách :

Teplota okolí : 20,6°C
Barometrický tlak : 971,2 kPa
Relativní vlhkost : 20%

| Otáčky | 1500 min ⁻¹ | | | | | | | | |
|----------|------------------------|-------|-------|-------|----------|---------------|-------|-------|-------|
| Zatížení | 30% | 50% | 70% | 100% | Zatížení | 30% | 50% | 70% | 100% |
| Čas (s) | Hmotnost (kg) | | | | Čas (s) | Hmotnost (kg) | | | |
| 1 | 0,181 | 0,526 | 1,141 | 1,813 | 31 | 0,200 | 0,595 | 1,226 | 1,894 |
| 2 | 0,182 | 0,528 | 1,144 | 1,815 | 32 | 0,200 | 0,598 | 1,229 | 1,897 |
| 3 | 0,182 | 0,531 | 1,147 | 1,818 | 33 | 0,201 | 0,600 | 1,232 | 1,901 |
| 4 | 0,184 | 0,533 | 1,150 | 1,821 | 34 | 0,201 | 0,603 | 1,235 | 1,903 |
| 5 | 0,184 | 0,536 | 1,153 | 1,824 | 35 | 0,201 | 0,605 | 1,237 | 1,906 |
| 6 | 0,185 | 0,536 | 1,156 | 1,827 | 36 | 0,201 | 0,607 | 1,241 | 1,910 |
| 7 | 0,185 | 0,538 | 1,159 | 1,830 | 37 | 0,202 | 0,610 | 1,244 | 1,912 |
| 8 | 0,186 | 0,541 | 1,161 | 1,835 | 38 | 0,202 | 0,612 | 1,246 | 1,915 |
| 9 | 0,187 | 0,543 | 1,165 | 1,833 | 39 | 0,203 | 0,615 | 1,248 | 1,918 |
| 10 | 0,187 | 0,546 | 1,167 | 1,836 | 40 | 0,204 | 0,618 | 1,250 | 1,921 |
| 11 | 0,188 | 0,548 | 1,170 | 1,839 | 41 | 0,204 | 0,620 | 1,252 | 1,924 |

| | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|----|-------|-------|-------|-------|
| 12 | 0,189 | 0,550 | 1,174 | 1,842 | 42 | 0,205 | 0,623 | 1,255 | 1,927 |
| 13 | 0,189 | 0,553 | 1,176 | 1,845 | 43 | 0,205 | 0,625 | 1,258 | 1,930 |
| 14 | 0,189 | 0,556 | 1,179 | 1,848 | 44 | 0,206 | 0,628 | 1,261 | 1,933 |
| 15 | 0,190 | 0,558 | 1,182 | 1,851 | 45 | 0,206 | 0,630 | 1,264 | 1,935 |
| 16 | 0,190 | 0,561 | 1,185 | 1,854 | 46 | 0,207 | 0,633 | 1,267 | 1,939 |
| 17 | 0,191 | 0,563 | 1,188 | 1,856 | 47 | 0,207 | 0,635 | 1,270 | 1,941 |
| 18 | 0,191 | 0,565 | 1,188 | 1,859 | 48 | 0,208 | 0,635 | 1,273 | 1,944 |
| 19 | 0,192 | 0,568 | 1,191 | 1,862 | 49 | 0,209 | 0,638 | 1,276 | 1,948 |
| 20 | 0,193 | 0,570 | 1,194 | 1,865 | 50 | 0,210 | 0,640 | 1,278 | 1,950 |
| 21 | 0,194 | 0,573 | 1,197 | 1,868 | 51 | 0,210 | 0,643 | 1,281 | 1,950 |
| 22 | 0,194 | 0,575 | 1,200 | 1,871 | 52 | 0,210 | 0,645 | 1,284 | 1,953 |
| 23 | 0,195 | 0,578 | 1,203 | 1,874 | 53 | 0,211 | 0,648 | 1,287 | 1,957 |
| 24 | 0,195 | 0,580 | 1,205 | 1,877 | 54 | 0,212 | 0,650 | 1,291 | 1,959 |
| 25 | 0,195 | 0,583 | 1,208 | 1,880 | 55 | 0,212 | 0,652 | 1,293 | 1,962 |
| 26 | 0,196 | 0,585 | 1,211 | 1,883 | 56 | 0,212 | 0,655 | 1,296 | 1,965 |
| 27 | 0,196 | 0,585 | 1,214 | 1,886 | 57 | 0,212 | 0,657 | 1,299 | 1,968 |
| 28 | 0,197 | 0,588 | 1,217 | 1,889 | 58 | 0,213 | 0,660 | 1,302 | 1,971 |
| 29 | 0,199 | 0,590 | 1,220 | 1,892 | 59 | 0,213 | 0,662 | 1,306 | 1,974 |
| 30 | 0,199 | 0,593 | 1,223 | 1,892 | 60 | 0,213 | 0,665 | 1,305 | 1,977 |

*Tab.2 - Tabulky naměřených hodnot **Satorius** při $n = 1500 \text{ min}^{-1}$*



Graf. 1 – Naměření hodnoty váhy Sartorius IC64 při $n = 1500 \text{ min}^{-1}$ zatížením 30%

Z tab.2 výpočítáme hodnoty spotřeby paliva za hodinu dle vorce (10)

$$M_{p/h} = (G_{60} - G_1) * 60 \quad (10)$$

$M_{p/h}$... Hodinová spotřeba paliva [kg/h]

G_1 ... Hmotnost váha v 1s [kg]

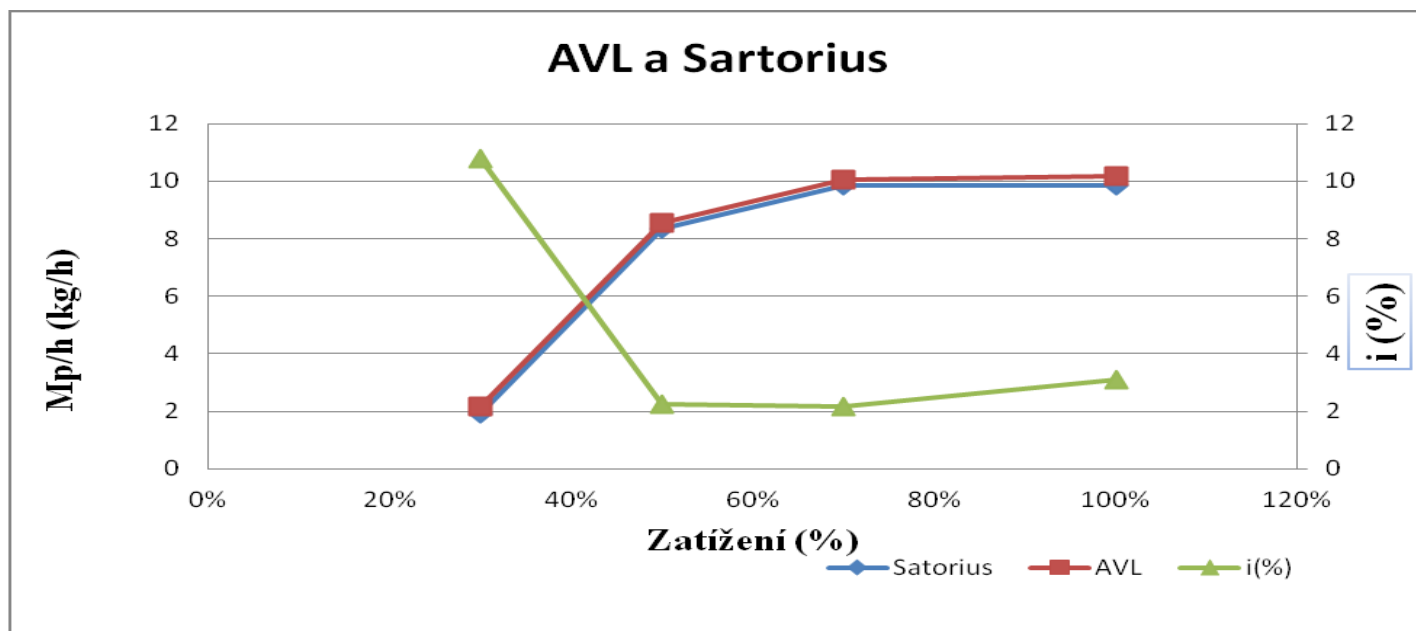
G_{60} ... Hmotnost váha v 60s [kg]

| | Zatížení | | | |
|--------------------------------|------------------|-------|--------|--------|
| | 30% | 50% | 70% | 100% |
| číslo | $M_{p/h}$ (kg/h) | | | |
| 1 | 2,157 | 8,602 | 10,043 | 10,048 |
| 2 | 2,166 | 8,551 | 10,037 | 10,054 |
| 3 | 2,151 | 8,561 | 10,05 | 10,061 |
| 4 | 2,15 | 8,5 | 10,059 | 10,05 |
| 5 | 2,151 | 8,492 | 10,072 | 10,62 |
| 6 | 2,141 | 8,493 | 10,073 | 10,096 |
| Střední hodnoty $\bar{x} =$ | 2,153 | 8,533 | 10,056 | 10,155 |

Tab.3 - Tabulky naměřených hodnot *AVL* při $n = 1500 \text{ min}^{-1}$

| $M_{p/h}$ (kg/h) | | Zatížení |
|------------------|--------|----------|
| Satorius | AVL | |
| 1,92 | 2,153 | 30% |
| 8,34 | 8,533 | 50% |
| 9,84 | 10,056 | 70% |
| 9,84 | 10,155 | 100% |

Tab.4 - Tabulky obecných naměřených hodnot Satorius a *AVL* při $n = 1500 \text{ min}^{-1}$



Graf 2. – Průběh hodnot spotřeby paliva při $n = 1500 \text{ min}^{-1}$

Graf 2. ukazuje výsledky spotřeby paliva měření odlišnými přístroji rozdíl činí při max. zatížení 0,315 kg/h, což je 3,1%. Největší odlišnost je při 30% zatížení (10,8%).

| Otáčky | 2000 min^{-1} | | | | | | | | |
|----------|------------------------|-------|-------|-------|----------|---------------|-------|-------|-------|
| Zatížení | 30% | 50% | 70% | 100 % | Zatížení | 30% | 50% | 70% | 100% |
| Čas (s) | Hmotnost (kg) | | | | Čas (s) | Hmotnost (kg) | | | |
| 1 | 2,275 | 2,691 | 3,490 | 4,418 | 31 | 2,297 | 2,779 | 3,613 | 4,540 |
| 2 | 2,275 | 2,694 | 3,495 | 4,422 | 32 | 2,298 | 2,782 | 3,617 | 4,544 |
| 3 | 2,276 | 2,697 | 3,499 | 4,426 | 33 | 2,299 | 2,785 | 3,621 | 4,548 |
| 4 | 2,277 | 2,700 | 3,503 | 4,430 | 34 | 2,299 | 2,788 | 3,625 | 4,552 |
| 5 | 2,277 | 2,703 | 3,507 | 4,434 | 35 | 2,300 | 2,791 | 3,629 | 4,556 |
| 6 | 2,278 | 2,705 | 3,511 | 4,438 | 36 | 2,300 | 2,794 | 3,633 | 4,560 |
| 7 | 2,279 | 2,709 | 3,515 | 4,443 | 37 | 2,302 | 2,797 | 3,637 | 4,564 |

| | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|----|-------|-------|-------|-------|
| 8 | 2,279 | 2,712 | 3,519 | 4,446 | 38 | 2,303 | 2,799 | 3,641 | 4,568 |
| 9 | 2,280 | 2,714 | 3,523 | 4,451 | 39 | 2,303 | 2,802 | 3,645 | 4,573 |
| 10 | 2,280 | 2,717 | 3,527 | 4,454 | 40 | 2,304 | 2,806 | 3,649 | 4,576 |
| 11 | 2,282 | 2,720 | 3,532 | 4,458 | 41 | 2,304 | 2,808 | 3,653 | 4,581 |
| 12 | 2,283 | 2,723 | 3,535 | 4,463 | 42 | 2,305 | 2,811 | 3,658 | 4,585 |
| 13 | 2,284 | 2,726 | 3,540 | 4,467 | 43 | 2,305 | 2,814 | 3,662 | 4,588 |
| 14 | 2,284 | 2,729 | 3,543 | 4,471 | 44 | 2,307 | 2,817 | 3,666 | 4,592 |
| 15 | 2,285 | 2,732 | 3,547 | 4,475 | 45 | 2,308 | 2,820 | 3,670 | 4,596 |
| 16 | 2,285 | 2,735 | 3,552 | 4,479 | 46 | 2,308 | 2,823 | 3,674 | 4,601 |
| 17 | 2,286 | 2,738 | 3,556 | 4,483 | 47 | 2,309 | 2,826 | 3,678 | 4,605 |
| 18 | 2,287 | 2,741 | 3,560 | 4,488 | 48 | 2,310 | 2,829 | 3,682 | 4,609 |
| 19 | 2,287 | 2,744 | 3,564 | 4,491 | 49 | 2,310 | 2,832 | 3,686 | 4,613 |
| 20 | 2,289 | 2,747 | 3,568 | 4,495 | 50 | 2,311 | 2,835 | 3,690 | 4,616 |
| 21 | 2,289 | 2,750 | 3,572 | 4,499 | 51 | 2,311 | 2,837 | 3,694 | 4,621 |
| 22 | 2,290 | 2,752 | 3,576 | 4,503 | 52 | 2,313 | 2,840 | 3,698 | 4,625 |
| 23 | 2,291 | 2,756 | 3,580 | 4,508 | 53 | 2,314 | 2,844 | 3,703 | 4,629 |
| 24 | 2,292 | 2,759 | 3,584 | 4,512 | 54 | 2,314 | 2,846 | 3,706 | 4,633 |
| 25 | 2,292 | 2,762 | 3,588 | 4,516 | 55 | 2,315 | 2,849 | 3,710 | 4,637 |
| 26 | 2,293 | 2,764 | 3,592 | 4,519 | 56 | 2,316 | 2,852 | 3,715 | 4,641 |
| 27 | 2,293 | 2,767 | 3,597 | 4,524 | 57 | 2,316 | 2,855 | 3,718 | 4,646 |
| 28 | 2,295 | 2,770 | 3,601 | 4,528 | 58 | 2,275 | 2,694 | 3,495 | 4,422 |
| 29 | 2,296 | 2,773 | 3,605 | 4,532 | 59 | 2,276 | 2,697 | 3,499 | 4,426 |
| 30 | 2,297 | 2,776 | 3,608 | 4,536 | 60 | 2,317 | 2,858 | 3,723 | 4,650 |

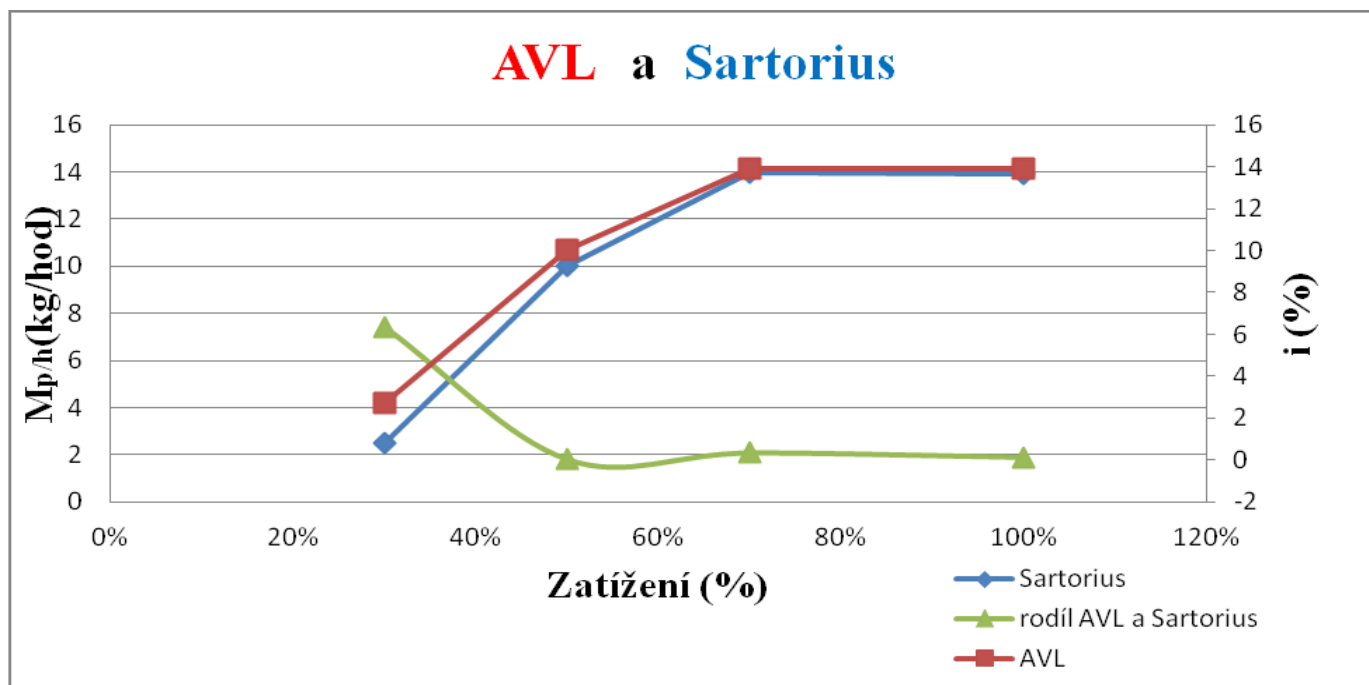
*Tab.5 - Tabulky naměřených hodnot **Satorius** při $n = 2000 \text{ min}^{-1}$*

| | Zatížení | | | |
|--------------------|------------------|--------|--------|--------|
| | 30% | 50% | 70% | 100% |
| číslo | $M_{p/h}$ (kg/h) | | | |
| 1 | 2,679 | 10,012 | 13,893 | 13,927 |
| 2 | 2,676 | 10,017 | 13,914 | 13,917 |
| 3 | 2,686 | 10,040 | 13,943 | 13,935 |
| 4 | 2,684 | | 13,959 | 13,951 |
| 5 | 2,752 | 10,005 | 13,944 | 13,952 |
| 6 | 2,672 | 10,015 | 13,947 | 13,946 |
| Průměr \bar{x} = | 2,692 | 10,017 | 13,933 | 13,938 |

Tab.6 - Tabulky naměřených hodnot *AVL* při $n = 2000 \text{ min}^{-1}$

| $M_{p/h}$ (kg/h) | | Zatížení |
|------------------|--------|----------|
| Satorius | AVL | |
| 2,520 | 2,6915 | 30% |
| 10,020 | 10,017 | 50% |
| 13,980 | 13,933 | 70% |
| 13,920 | 13,938 | 100% |

Tab.7 - Tabulky obecných naměřených hodnot Satorius a *AVL* při $n = 2000 \text{ min}^{-1}$



Graf 4. – Průběh hodnot spotřeby paliva při $n = 2000 \text{ min}^{-1}$

Graf 4. ukazuje spotřeby paliva měřené odlišnými přístroji rozdíl čími max. 0.17 kg/h, což je 6.37%.

6. Závěr :

Bakalářská práce vysvětluje v úvodních odstavcích význam měření spotřeby paliva v motoru. V další části popisuje jednotlivé principy měření spotřeby kapalných paliva spalovacích motorů pomocí různých měření : volumetrické, gravimetrické a způsoby používaných v laboratoři KVM.

Pro srovnání naměřených výsledků měření spotřeby přístroj AVL a Satorius bylo provedeno měření, a to hmotnostním měřením spotřeby paliva.

Výsledné naměřené hodnoty byly zaneseny do tabulek a grafů. Provnáním tabulkových a grafických výsledků zjistíme, že naměřené hodnoty se liší o $2,15\% \div 10,8\%$ při $n = 1500 \text{ min}^{-1}$ a $0,03\% \div 6,37\%$ při $n = 2000 \text{ min}^{-1}$.

Což značně předračuje deklarovanou přesnost měření $0,1\%$ u přístroje AVL.

Váha Satorius měří odečet spotřeby paliva s přesností $\pm 1 \text{ g}$. Výpočtem spotřeby paliva dle vorce (10) to činí $0,06 \text{ kg/h}$. Při hodnotě spotřeby 6 kg/h je chyba $\pm 1\%$. Pro menší hodnoty spotřeby se tato chyba zvětňuje.

Navíc odečet dvou krajních hodnot v intervalu 1 min zaváší do metody nepřesnost způsobenou rozkmitem odečítané hodnoty viz. Graf 1. Určitým řešením by bylo použití přímkové regrese pro další výpočty.

Z výše uvedebých důvodů doporučuji přednostně používat k měření spotřeb paliva způsob s přístrojem AVL 733S, případné novějších přístrojů k měření okamžitého hmotnostního průtoku paliva fy. Micromotion.

Seznam použité literatury

- [1] *Servisní příručka VW – Motor 2,0 l - TDi*
- [2] <http://www.avlcechy.cz/list-spotreba.html>
- [3] <https://www.avl.com/fuel-balance-and-fuel-temperature-control>
- [4] <http://towipage.webzdarma.cz/druhypaliv.html>
- [5] <http://knihovna.tul.cz/Katedra-vozidel-a-motoru-%28KVM%29-159848.php>
- [6] http://www.karolinaexpress.cz/cz/vahy.htm?utm_source=google&utm_medium=pc&utm_campaign=4every1
- [7] <http://www.logismarket.cz/sartorius/analyticke-vahy/1362633114-947644828-p.html>
- [8] *Dokumenty* <http://www.kvm.tul.cz/>
- [9] www.ksd.vslib.cz/studenti/texty/VOZMOT.pdf
- [10] *Vlk, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel, vlk Brno 2001*
- [11] *Vlk, F.: Dynamika motorových vozidel, vlk Brno 2005*